

축계 마력 측정 시스템의 개발에 관한 연구

남택근* · 이돈출* · 노영오* · 허광석** · 최권주***

*목포해양대학교 기관시스템공학부 교수, **선박검사기술협회 검사관, ***백천기업(주) 대표

A Study on the Development of Shaft Power Measuring System

T. K. Nam* · D. C. Lee* · Y. O. Roh* · G. S. Heo · G. J. Choi***

* Department of Marine Engineering , Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

** Korean Society of Ship Inspection and Technology, Mokpo Branch, Korea

*** Baek Cheon Company, Mokpo Korea

요 약 : 본 연구에서는 소형선박의 축계 마력측정시스템의 설계 및 개발에 관해 논의한다. 축계에서의 정확한 출력측정은 선박의 사용목적, 추진축계의 설계 및 제작에 중요한 요소이다. 본 연구에서는 동력원의 토크에 의한 축 상에서의 비틀림각을 측정하기 위하여 기어휠을 설치하고, 설치된 기어휠에 비접촉식 마그네틱 센서를 부착하여 각각의 위상각을 계속하게 된다. 또한 기어휠의 분해능을 보완하기 위해 고분해능의 엔코더를 추가적으로 부착하고, 원동기의 동력원에 대한 부하를 부가하기 위해 원동기와 같은 축 상에 발전기를 설치하여 부하변동에 따른 마력계측이 가능토록 하였다. 제어프로세서에서는 얻어진 위상차의 정보를 이용하여 축계상의 마력을 계산하고, 결과 값을 모니터 상에 출력하게 된다.

핵심용어 : 축계마력측정, 비틀림각, 회전기기, 회전수

ABSTRACT : In this paper a development of shaft power measuring system for a small vessel is discussed. It is important that the exact power measurement of marine engine which is used for ship's propulsion since the engine power is related to ship's usage and its shaft design. Two gearwheel and magnetic sensors are adopted to measure torsional angle on the shaft. High resolution encoder is also applied to compensate the output signal from gearwheel. The calculation of shaft power is executed using measured signal and angular velocity of rotating machine and the result is plotted on the monitoring screen.

KEY WORDS : A Shaft Power Measurement, Torsional Angle, Rotating Machinery, RPM

1. 서 론

본 연구에서는 소형 선박을 대상으로 축계에서의 정확한 출력을 측정하기 위한 시스템을 제안하고, 그에 대한 개발방법에 대해 논의하고자 한다. 엔진 축계에서의 정확한 출력은 선박의 사용목적, 관련추진축계의 제작 및 설치비용 등과 밀접한 관련을 맺고 있다. 대부분의 엔진제작사의 경우 ISO의 규정에 의해 제시된 방법을 따를 경우 큰 문제가 없을 것이나 소형업체 등에서는 엔진출력에 관한 정확한 자료제시가 불충분할 경우 선주사가 피해를 입는 경우도 있다(이, 2003). 따라서 출력산정에 관한 자료는 정확하게 제시되어야 하므로, 본 연구에서는 엔진 등을 포함한 회전기기의 출력값을 측정하기 위한 시스템의 제안 및 측정방법에 대해 새로운 방법을 제안하고 있다.

선박의 일반적인 출력 측정방법은 P-V선도에 의한 방법, 기계식동력계, 수동력계, 와전류를 이용한 전기동력계를 이용하는 것이다(전, 2002). 본 연구에서는 실제 엔진을 회전기기로 가정하고 전동기로 대체한 회전기기의 출력측정시스템을 개발하고자 한다. 선박용 엔진, 압축기, 전동기 등은 구동 동력원에 약간의 차이가 있지만 회전에 의한 동력전달방식은 큰 차이가 없으므로 본 연구에서 제안한 동력측정 방법은 다양한 종류의 회전기기에 폭넓게 적용할 수 있을 것이다.

2. 동력측정시스템

2.1 동력측정시스템의 개요

동력전달 축은 전달되는 토크에 의한 비틀림 각을 발생시키게 되는 데 본 연구에서는 동력 전달축(Diesel engine)과 부하 축(Load: Propeller)사이의 축(Shaft)상에 두 개의 기어 휠을 설치한다. 동력구동원에 의해 축은 회전하게 되고, 회전하는 기어의 산과 풀 사이의 거리는 비접촉식 전자식검출기에 의해 검

*정회원, tknam@mmu.ac.kr 061)240-7310
**비회원, ldcvib@mmu.ac.kr 061)240-7089
**비회원, mmuroh@mmu.ac.kr 061)240-7095
**비회원, gsheo@kst.or.kr 061)245-6142
**비회원, pack1024@hanmail.net 061)245-2100

출되어 ON-OFF(구형파)신호로 출력된다. 동력전달축과 부하 단축의 구형파신호는 가해지는 부하값에 의해 위상차가 발생하게 되고, 발생한 위상차는 전압신호로 출력되어 컴퓨터 상에서 모니터링과 신호해석을 동시에 행하게 된다. 제어프로세서에서는 위에서 얻어진 위상차에 대한 정보를 바탕으로 축에 가해진 토크 및 마력을 계산하여 결과 값을 모니터에 출력하는 시스템이 얻어지게 된다. 두 지점간의 위상차를 이용한 축계마력 측정 시스템의 구성도는 그림.1 과 같다.

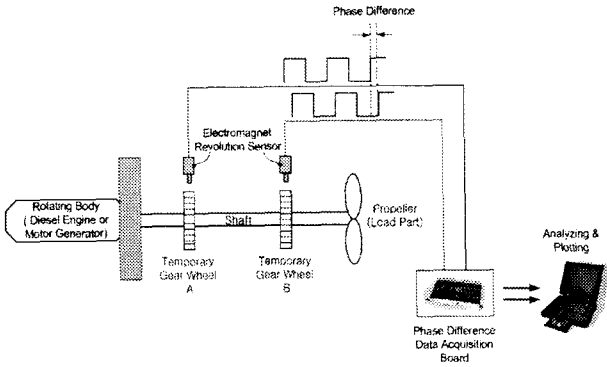


그림. 1 토크측정시스템의 구성도

그림. 1과 같은 시스템을 이용하여 토크로 인한 축에서의 비틀림 각을 측정하고 비틀림 각과 탄성계수를 이용하여 토크를 계산한 다음 회전축의 각속도를 곱하여 축에서의 마력을 측정하게 되는 데 다음과 같은 측정원리를 이용하게 된다(민, 2003).

2.2 토크측정 원리

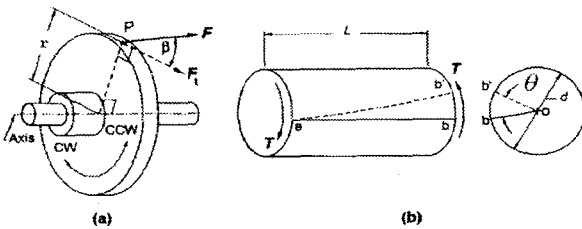


그림.2 토크에 의한 비틀림 각의 발생

그림. 1의 기어휠이 그림. 2 (b)의 a, b 지점에 각각 설치되게 된다. 동력전달부로부터의 회전력은 그림 2 (a)와 같이 회전체의 축으로부터 거리 r에 작용하는 접선방향의 힘 F_t 로써 회전체를 시계방향으로 회전시킨다. 이때 작용하는 힘은 F_t 와 r 에 따라 증가하는 데 두 물리량의 곱이 모멘트(moment)가 되고 회전축에 관한 모멘트는 토크(torque: T)를 발생시킨다.

$$T = F_t \cdot r \tag{1}$$

평형상태의 강체에 이와 같은 외부의 토크가 작용하면 내부 토크에 의해 전단변형이 발생하고 그림 2 (b)와 같이 T에 의해 축에는 비틀림 각 θ 가 발생한다. 비틀림 각 θ 는 회전감출 센서 A, B의 위상차로부터 계산을 한다. 전단변형에 따른 발생 토크와 비틀림 각 사이에는

$$\theta = \frac{32L}{\pi d^4 G} T \tag{2}$$

의 관계가 성립된다. 단, G는 재료의 횡 탄성계수, d는 축의 직경, L은 두 계측지점 간의 거리를 의미한다. 따라서 비틀림 각에 의한 토크의 값은

$$T = K_\theta \cdot \theta \tag{3}$$

과 같이 구할 수 있다. 단, $K_\theta = \frac{\pi}{32} \frac{d^4 G}{L}$ [Nm/rad] 이고, 단조강의 횡탄성 계수 G값은 $8.188 \times 10^{10} N/m^2 \sim 8.3359 \times 10^{10} N/m^2$ 이다.

비틀림 각에 의한 토크(T)가 계산되면 최종적으로 축에 전달되는 축 마력은

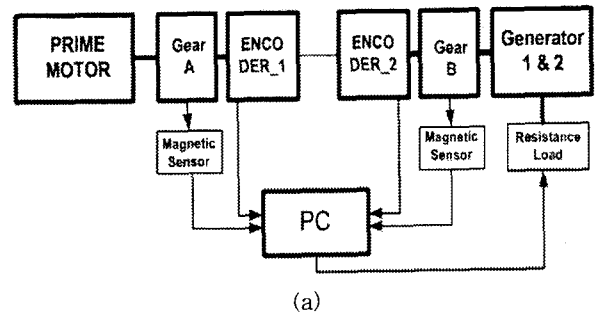
$$P_{shaft} = T \cdot \omega \tag{4}$$

로 구해진다. 단, ω 는 축의 회전 각 속도를 의미한다.

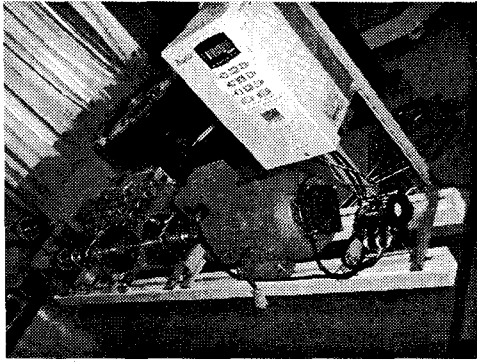
2.3 시스템의 구성

본 연구에서 제안한 동력측정시스템의 블록선도는 그림. 3과 같다. 크게 원동기, 기어휠, 엔코더, 토크측정용 시편, 발전기, 저항부하, PC로 구성이 되어 있다. 그림. 3 (a), 그림. 3 (b)는 각각 동력측정시스템의 구성도 및 외관을 나타내고 있다.

원동기로부터 발생된 토크 기어 A와 기어 B를 연결하는 축으로 전달되고, 발전기축의 전기적인 부하에 의해 토크측정용 시편에 비틀림응력이 발생하며 이 비틀림은 기어 A, B에서 측정되는 구형파의 위상차로 변환되게 된다.



(a)



(b)

그림. 3 시스템의 구성도 및 외관

위상차는 DAQ보드를 통해 디지털 값으로 획득되고, 파일로 저장된 후 위상차 해석을 행하여 토크값으로 변환하고 최종적인 축마력으로 계산되는 것이다.

부하에 의해 기어휠 사이에는 비틀림이 작용하므로 토크측정용 시편의 재질을 50CrV4 이고, 경도는 HRC43~50 으로 하여 비틀림에 의해 시편이 부러지거나 파손되지 않도록 하였다.

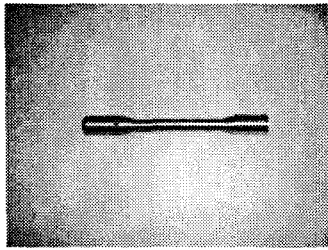
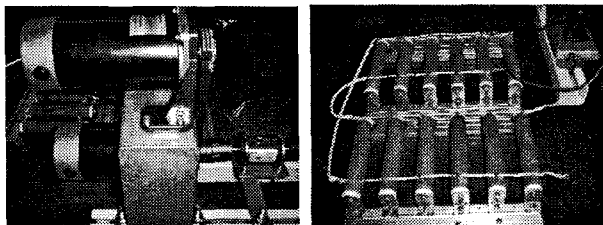


그림.4 토크측정용 시편

동력측정 시스템에서 부하축의 변화를 가하기 위하여 같은 축 상에 그림. 5 (a)와 같은 발전기 2대를 병렬로 설치하였고, 부하는 그림. 5 (b)와 같은 저항부하를 적용하였다.



(a)

(b)

그림. 5 부하전류 발생용 발전기 및 저항부하

부하의 크기는 임의로 조절이 가능하도록 컴퓨터상에서 프로그래밍하였고, 발전기의 24V발생전압(전류)을 부하단에 흐르게 하기 위하여 그림. 6과 같은 DC 컨버터(5V DC→24V DC)를 적용하여 릴레이를 구동하도록 하였다.

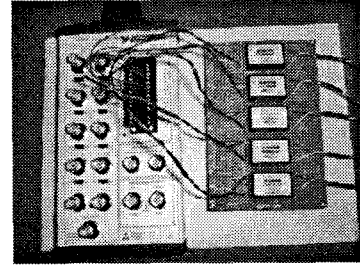


그림. 6 DC24V 컨버터

상기와 같은 시스템에서 A/D보드를 통해 얻어진 데이터로부터 두 지점간의 위상차를 검출 즉, (2)의 비틀림 각을 계산하고 (3)의 토크 및 (4)의 축마력은 프로세서내의 해석 프로그램에서 계산되어 최종적인 결과 값을 계측자가 알 수 있도록 디스플레이에 출력하게 된다.

3. 데이터의 계측 및 해석

3.1 데이터의 계측 및 해석

그림.3 과 같은 시스템에 전원을 투입하여 축을 회전시키고 원동기 측과 부하 측의 기어에 비접촉식 마그네틱센서(MP981)와 DAQ보드(NI9215, 4채널, 1MS/s)를 이용하여 기어의 회전에 따른 구형파를 계측하였고, 그 결과는 그림. 7과 같다. 단, 샘플링 레이트는 4096 S/s로 설정하였다. 그림. 7의 $Signal_A$, $Signal_B$ 는 각각 그림. 1의 기어휠 A, B에서 계측한 파형을 나타낸다.

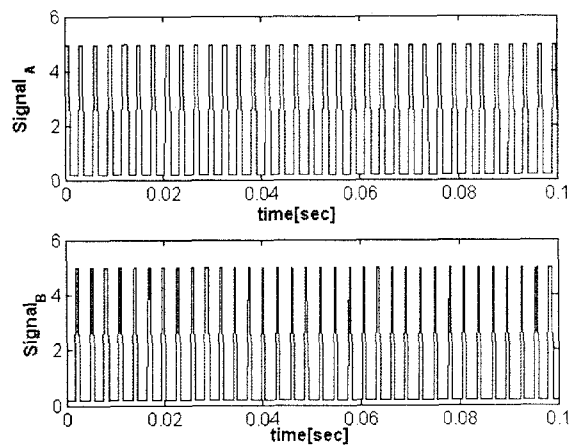


그림. 7 기어휠로부터 계측한 펄스파형

그림. 8은 계측된 구형파로부터 원동기의 분당회전수(RPM)를 계산한 것이다. 4096 S/s샘플링 간격으로 얻어진 계측데이터에 대해 차분법을 적용하여 라이징 에지간의 시간을 계산한 다음, 얻어진 시간에 대한 역수를 취하여 주파수로 계산하였다. 매 발생펄스에 대한 RPM계산결과를 나타내고 있고, 약 340 Hz의 주파수로 회전하고 있음을 알 수 있다. 그림. 9는 그림. 7의

두 파형들을 같은 시간축 상에 나타낸 것이다. 무부하시의 초기 위상을 계산한 다음, 부하 운전시에 얻어진 파형간의 위상차를 계산해서 비틀림 각과 토크를 계산하게 되는 것이다.

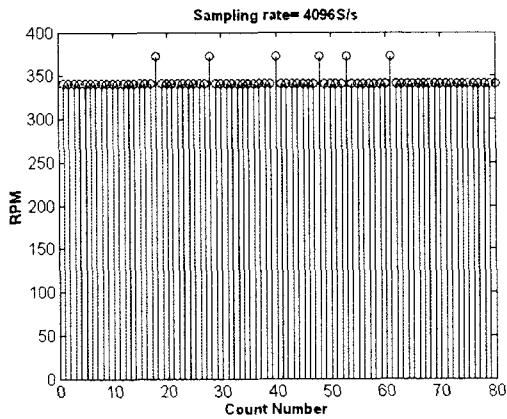


그림. 8 RPM 계산결과

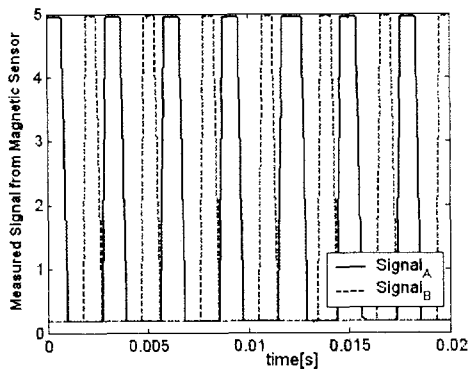


그림. 9 파형간의 위상차

그림. 10은 무부하에 가까운 상태(기어, 축간, 벨트간의 마찰 무시)에서 토트센서로부터 계측한 토크를 나타내고 있다. 그림. 10의 상부 그림은 센서로부터의 순수한 계측데이터이고, 하부는 계측데이터에 대해 밴드패스필터(1 ~ 30Hz)를 이용하여 필터링한 결과이다.

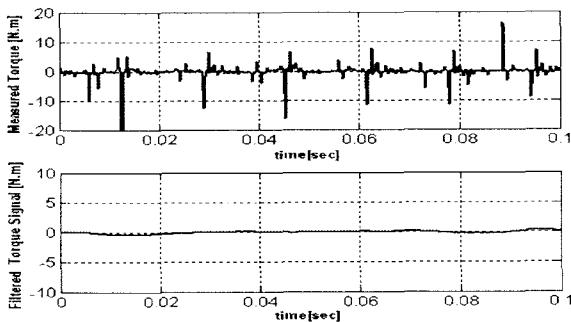


그림. 10 토크 결과치

4. 결론

본 연구에서는 두 지점간의 위상차를 이용하여 원동기축의 토크와 축마력을 계측하기 위한 시스템의 개발에 대해 논의하였다. 먼저, 원동기축의 발생토크를 계측하기 위해 부하측 사이에 두개의 기어휠을 설치하고, 마그네틱센서를 이용하여 기어휠의 회전에 따른 구형파를 계측하였다. 아울러 구형파간의 위상차를 계산하여 비틀림각을 계산하는 방법을 제안하였다. 계측값의 정확도를 판단하기 위하여 토크센서로부터 직접적으로 계측한 토크 데이터를 비교데이터로 활용할 수 있음을 알 수 있었다.

정확한 동력측정을 위해 향후 보완되어야 할 연구과제는 다음과 같다.

첫째, 현재는 무부하에 가까운 상태에서 운전을 하고 있지만 위상의 정확한 계산을 위해서는 완전한 무부하상태에서 두 지점간의 초기위상차를 정확하게 계산하여야 한다.

둘째, 부하의 증감에 따른 토크의 변화 및 출력변화 특성을 확인하여야 한다.

셋째, 구형파펄스, 토크센서의 출력파형으로부터 얻어지는 결과와 엔코더 출력파형으로부터의 결과를 비교분석하여야 한다.

참고 문헌

- [1] 광두영(2002), 컴퓨터기반의 제어와 계측 Solution, Ohm사.
- [2] 이돈출(2003), 두 지점의 위상차를 이용한 동력측정방법의 기초연구 및 응용, 목포해양대학교 졸업논문지도 자료.
- [3] 민남기(2003), 센서전자공학, 동일출판사.
- [4] 전효중, 최재성(2002), 내연기관강의, 효성출판사.
- [5] Emmanuel C. Ifeachor and Barrie W. Jervis(1993). Digital Signal Processing - a practical approach. Addison-Wesley.
- [6] J. G. Proakis and D. G. Manolakis(1996). Digital Signal Processing Principles, Algorithms and Applications. Prentice Hall.
- [7] Rotary Torque Sensor Manual(2006), <http://www.ncte.de>
- [8] Singiresu S. Rao (2004), Mechanical vibrations, Prentice Hall.